

НОВИК М.А., ЮРЧИШИН О.Я.

РОЗРОБКА І ДОСЛІДЖЕННЯ ЗУСИЛЛЯ ЗАТИСКУ І КРУТНОГО МОМЕНТУ БЕЗКАМЕРНОГО ЗАТИСКНОГО ПАТРОНА

Проаналізовані різноманітні конструктивні схеми затискних патронів, які застосовуються для закріплення ріжучих інструментів (свердл, фрез) з циліндричними хвостовиками при високошвидкісній обробці матеріалів різанням. Запропонована оригінальна малогабаритна конструкція затискного патрона з регульованим зусиллям затиску-розтиску. При цьому, зусилля затиску-розтиску хвостовика і інструменту забезпечується не підводом тиску живлення в робочі камери патрона, а в робочі камери гідроциліндра (або пневмоциліндра), який не входить в структуру патрона. Запропонований патрон характеризується підвищеним крутним моментом, що унеможливає проковзування рухомої втулки відносно затискної при різкому розгоні і гальмуванні патрона. Приведені аналітичні залежності, які дають можливість розраховувати зусилля затиску-розтиску в процесі проектування як патронів з додатковою радіальною камерою, так і без неї. Використання додаткової радіальної камери дає можливість значно понизити робочий тиск живлення при збереженні заданого зусилля при затиску хвостовика ріжучого інструмента.

Ключові слова: затискний патрон; рухома затискна втулка; додаткова камера; тиск живлення; гідроциліндр.

НОВИК Н.А., ЮРЧИШИН О.Я.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ УСИЛИЯ ЗАЖИМА И КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА БЕСКАМЕРНОГО ЗАЖИМНОГО ПАТРОНА

Проанализированы различные конструктивные схемы зажимных патронов, которые применяются для закрепления режущих инструментов (сверл, фрез) с цилиндрическими хвостовиками при высокоскоростной обработке резанием. Предложена оригинальная компактная конструкция зажимного патрона с регулируемым усилием зажима-разжима. При этом, усилие зажима-разжима хвостовика и инструмента обеспечивается не подводом давления питания в рабочие камеры патрона, а в рабочие камеры гидроцилиндра (или пневмоцилиндра), который не входит в структуру патрона. Предложенный патрон характеризуется повышенным крутящим моментом, делает невозможным проскальзывание подвижной втулки относительно зажимной при резком разгоне и торможении патрона.

Приведены аналитические зависимости, позволяющие рассчитывать усилие зажима-разжима в процессе проектирования как патронов с дополнительной радиальной камерой, так и без нее. Использование дополнительной радиальной камеры дает возможность значительно снизить рабочее давление питания при сохранении заданного усилия при зажиме хвостовика режущего инструмента.

Ключевые слова: зажимной патрон; подвижная зажимная втулка; дополнительная камера; давление питания; гидроцилиндр.

NOVIK N., YURCHYSHYN O.

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF THE CLAMPING EFFORT AND TORQUE OF THE TUBERLESS CHUCK

Various design patterns of chucks are analyzed, which are used to secure cutting tools (drills, mills) with cylindrical shanks during high-speed machining. An original compact design of a chuck with adjustable clamp-expanding force is proposed. At the same time, the clamp-expanding force of the shank and tool is provided not by supplying pressure to the working chambers of the chuck, but into the working chambers of the hydraulic cylinder (or pneumatic cylinder), which is not included in the structure of the chuck. The proposed chuck is characterized by increased torque, makes it impossible to slip the movable sleeve relative to the clamping during sharp acceleration and braking of the chuck.

Analytical dependences are given that make it possible to calculate the clamping-expanding force during the design process of both chuck with and without an additional radial chamber. The use of an additional radial chamber makes it possible to significantly reduce the operating pressure of the supply while maintaining the specified force when clamping the shank of the cutting tool.

Keywords: chuck; movable clamping sleeve; additional camera; supply pressure; hydraulic cylinder.

1. Вступ. При обробці отворів малого діаметра на свердлильних верстатах і вузьких пазів на фрезерувальних верстатах необхідно для отримання високої якості обробки (чистоти) інструменту забезпечити високу швидкість обертання. Висока швидкість обертання інструмента (свердла, фрези) обумовлює створення малогабаритних затискних патронів, так як з підвищенням обертів значно збільшуються відцентрові сили, які понижують зусилля затиску, що в свою чергу може призвести до неякісної обробки і аварійної ситуації.

Відцентрове зусилля визначається по відомій залежності

$$F = m \cdot R \cdot \omega^2 = m \left(\frac{\pi \cdot n}{30} \right)^2 R \quad (1)$$

Аналіз залежності (1) дозволяє зробити висновок, що відцентрове зусилля можна зменшувати за рахунок мінімізації параметрів затискного патрона,

тобто маси і радіальних розмірів. Найменший радіальний розмір має традиційна схема конус в конусі, але такий затиск має недоліки, які полягають в тому, що немає можливості регулювати зусилля затиску-розтиску і неможливо робити затиск деталей і інструментів з циліндричним хвостовиком [1].

В наш час, вітчизняні і закордонні фірми, які займаються високошвидкісною обробкою матеріалів різанням ведуть активну роботу в створенні і дослідженні малогабаритних затискних патронів для металорізальних та деревообробних верстатів. При цьому, в основному створення і дослідження присвячується затискним патронам, структура яких містить гіравлічні камери високого тиску. Розміщення камер затиску-розтиску безпосередньо в затискному патроні обумовлює суттєві недоліки таких пристроїв. Такі патрони складні конструктивно, вони живляться високим робочим тиском (до 100 МПа і більше), недоліком також є і те, що в процесі роботи камери затиску-розтиску заповнені горючою робочою

рідину (мастилом). Все це значно обмежує область застосування затискних патронів, тому розробка і дослідження новітніх затискних патронів з поліпшеними технічними характеристиками є актуальною проблемою, вирішення якої дасть можливість значно підвищити як продуктивність, так і якість обробки деталей.

2. Аналіз попередніх розробок і досліджень.

В роботах [2] і [3] розглянуті відповідно патрони, у яких затиск-розтиск відбувається за рахунок теплової і силової деформації затискних елементів. Такі затискні патрони мають незначні габаритні радіальні розміри, але у них неможливе регулювання зусилля затиску – розтиску і необхідне специфічне обладнання для їх обслуговування. В роботах [4, 5] розглянуті патрони, в яких можливе регулювання зусилля затиску-розтиску в процесі експлуатації. В структуру таких патронів входять тонкостінна пружна затискна втулка, з якою рухомо в осьовому напрямку по конічній поверхні спряжена з утворенням двох герметичних камер рухомо втулка. Недоліком таких двокамерних затискних патронів є те, що вони складні конструктивно і технологічно. Технологічна складність обумовлюється тим, що дуже складно прикріпити до тонкостінної затискної втулки торцеву кришку. Зусилля затиску – розтиску в таких патронах визначається добутком ефективної площі рухомої втулки на тиск, який діє на цю площу. Тому в таких патронах виникає протиріччя: при збільшенні площі зростає радіальний габаритний розмір, що в свою чергу веде до збільшення відцентрової сили. Збільшення тиску живлення, що подається в камери, вимагає застосування мультимплікаторів і спеціальної апаратури високого тиску до 100 МПа і більше. Крім того, в процесі роботи, рідина залишається в робочих камерах затиску-розтиску, що може привести до її загорання і руйнування патрона. Тобто, в процесі експлуатації таких патронів необхідно забезпечити охолодження.

В роботах [4, 5] розглянуті конструкції трикамерних затискних патронів, які характеризуються пониженням робочого тиску живлення в порівнянні з двокамерними затискними патронами. Ефект пониження робочого тиску, що підводиться до робочих камер, обумовлюється тим, що в процесі затиску чи розтиску тиск живлення одночасно підводиться як до робочої камери, так і до камери радіального відтискування рухомої втулки від затискної. Такі патрони характеризуються пониженням робочого тиску на 40-50 відсотків, але мають такі ж недоліки як і попередньо розглянуті двокамерні патрони.

3. Постановка задачі. Задачами статті є розробка і дослідження безкамерного затискного патрона з додатковою камерою радіального відтиску і рухомою втулкою, яка забезпечує передачу крутного моменту від хвостовика патрона до затискної втулки з метою отримання аналітичних залежностей для розрахунку характеристик патронів такого типу.

4. Вклад основного матеріалу. На рис. 1 показано затисковий патрон, структура якого не містить камер затиску-розтиску [8].

Затискний патрон складається із хвостовика 1, до якого гвинтом 2 прикріплена тонкостінна пружна затискна втулка 3 (або пелюсткова цанга) з кутом конусності α ($\alpha \approx 2..3^\circ$). Із затискною втулкою 3 спряжена по конічній поверхні рухомо в осьовому напрямку втулка 4.

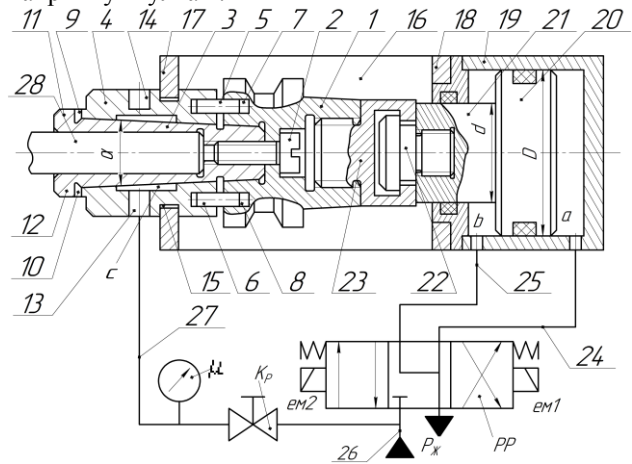


Рис. 1. Затискный патрон

У рухомій втулці 4 з одного торця закріплені діаметрально штифти 5 і 6, які з можливістю руху в осьовому напрямку розміщені в отворах 7 і 8, виконаних у хвостовику 1. З іншого торця рухомої втулки 4 виконані діаметрально протилежно пази 9 і 10, які рухомо в осьовому напрямку спряжені з буртиками 11 і 12, виконаними на торці затискної втулки 3. В рухомій втулці 4 виконана кільцева камера *c* з каналом живлення 13 і компенсуючим глухим отвором 14. На зовнішній циліндричній поверхні рухомої втулки 4 виконана кільцева проточка 15. Затискний патрон закріплюється в рамі, виконаній у вигляді швелера 16, при цьому кільцева проточка 15 розміщується в пазу лівої полки 17 швелера 16. До правої полки 18 швелера прикріплений гідроциліндр 19, в якому розміщений поршень 20 зі штоком 21. В шток 21 вгвинчений гвинт 22, який спряжений з байонетом 23, вгвинченим в хвостовик 1 затискного патрона. Герметичні камери *a* і *b* гідроциліндра 19 з'єднані каналами 24 і 25 з вихідними каналами реверсивного гідророзподільника РР. Канал живлення 26 з'єднаний з вхідним каналом розподільника РР і з вхідним каналом крана K_p , вихідний канал 27 якого з'єднаний з каналом 13 рухомої втулки 4. В отворі затискної втулки 3 розміщується хвостовик інструмента 28 або деталь.

Тиск живлення $P_{жз}$, що підводиться до робочих камер a і b і радіальної камери c вимірюється манометром M .

Затиск-розтиск патрона відбувається наступним чином. У вихідному положенні електромагніти $em1$ і $em2$ розподільника РР знеструмлені, а запірний кран K_p закритий. При цьому камери a і b і c з'єднані з атмосферою (зливом). Штифти 5 і 6 розміщені в отворах 7 і 8 хвостовика 1, а в пазах 9 і 10 втулки 4 розміщені буртики 11 і 12 затискної втулки 3. Для здійснення затиску інструмента 28 подається напруга

на електромагніт $em2$. При цьому, розподільник РР перемикається праворуч (за кресленням) і тиск живлення $P_{ж}$ підводиться до камери b циліндра 19, а камера з'єднується зі зливом (атмосферою). Під дією тиску $P_{ж}$ в камері b поршень 20 зі штоком 21, хвостовиком 1 і затискною втулкою 3 рухаються праворуч відносно втулки 4. Осьове зусилля, що діє на затискну втулку визначається залежністю

$$R_0 = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2) \cdot P_{ж} - \frac{\pi}{4} D^2 \cdot P_3 - R_{тер},$$

де D - діаметр поршня 20; d - діаметр штока 21; P_3 - тиск зливу у камері a ; $R_{тер}$ - сумарна сила тертя.

Радіальне зусилля, що діє на втулку 3 від втулки 4

$$R_0 = R_0 \cdot \text{ctg}(\alpha + \varphi_{тер}) = \left\{ \frac{\pi}{4} [(D^2 - d^2) \cdot P_{ж} - D^2 \cdot P_3] - R_{тер} \right\} \text{ctg}(\alpha + \varphi_{тер}),$$

де α - кут спряження втулок 3 і 4; $\varphi_{тер}$ - кут тертя.

Контактний тиск між конічними поверхнями втулок 3 і 4 при закритому крані K_p визначається по залежності

$$P_{k,3} = \frac{R_p}{F_k},$$

де F_k - площа контакту між втулками 3 і 4.

Для визначення площі контакту втулок 3 і 4 зробимо спрощену схему

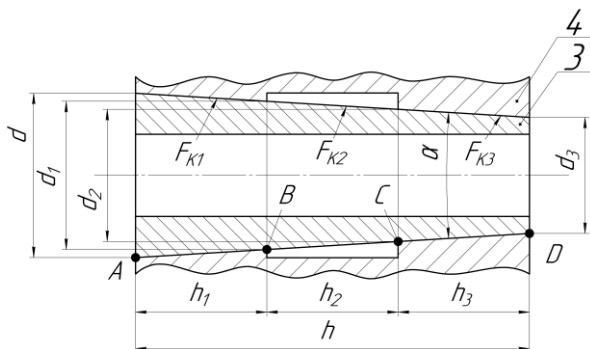


Рис. 2 – Розрахункова схема для визначення площі контакту втулок

Сумарна площа контакту втулок F_k визначається по залежності

$$F_k = F_{k1} + F_{k3} = \pi \frac{d + d_1}{2} \cdot l_1 + \pi \frac{d_2 + d_3}{2} \cdot l_3, \quad (2)$$

де d , d_1 , d_2 і d_3 - діаметри торцевих поверхонь конусів; l_1 і l_2 - довжини твірних АВ і CD конусів.

Після перетворення залежності (2) отримуємо залежність для визначення площі контакту між втулками 3 і 4 при заданих величинах d , α і висот конусів h_1 , h_2 і h_3

$$F_k = \frac{\pi}{\cos \frac{\alpha}{2}} \left[h_1 \left(d - h_1 \cdot \text{tg} \frac{\alpha}{2} \right) + (h_1 + h_2 + h_3) \times (d - (2h_1 + 2h_2 + h_3)) \cdot \text{tg} \frac{\alpha}{2} \right] \quad (3)$$

Для спрощення залежності 3 приймемо

$$h_1 = h_2 = h_3 = h$$

і підставивши ці значення в залежність (2) отримуємо

$$F_k = \pi \cdot 4h \left(d - 4h \cdot \text{tg} \frac{\alpha}{2} \right) / \cos \frac{\alpha}{2} \quad (4)$$

Контактний тиск між втулками 3 і 4 визначається по залежності

$$P_k = \frac{R_p}{F_k} = \frac{\left\{ \frac{\pi}{4} [(D^2 - d^2) \cdot P_{ж} - D^2 \cdot P_3] - R_{тер} \right\} \text{ctg}(\alpha + \varphi_{тер})}{\pi \cdot 4h \left(d - 4h \cdot \text{tg} \frac{\alpha}{2} \right) / \cos \frac{\alpha}{2}} \quad (5)$$

Розглянемо процес затиску при відкритому крані K_p , тобто коли тиск живлення одночасно подається в камери b і c . При цьому, втулка 3 рухається праворуч відносно втулки 4 і створює на неї радіальний тиск, який визначається по формулі (5). При з'єднанні камер b і c з атмосферою (зливом), радіальна сила, що діє від втулки 4 на втулку 3 збільшується на величину

$$R_{p,g} = \pi \cdot \frac{d_1 + d_2}{2} \cdot h_2 \cdot P_{ж}$$

Внаслідок збільшення радіального зусилля збільшується і контактний тиск між втулками 3 і 4 на величину

$$P_{k,g} = \frac{R_{p,g}}{F_{k2}},$$

$$\text{де } F_{k2} = \pi \cdot \frac{d_1 + d_2}{2} \cdot h_2.$$

Таким чином, створення додаткової радіальної камери дає можливість збільшити контактний тиск на втулку 3, що в свою чергу збільшує зусилля затиску хвостовика інструмента, розміщеного в отворі тонкостінної затискної втулки.

Крім того, передача крутного моменту від хвостовика 1 до затискної втулки 3 через штифти 5,6 і спряження 9-11 і 10-12 унеможливує прокручування втулки 4 відносно затискної втулки 3.

Розглянемо процес розтиску патрона, який може відбуватися як при з'єднанні радіальної камери c з атмосферою, так і з'єднанні її з тиском живлення $P_{ж}$. При з'єднанні камери c з атмосферою, осьове зусилля при розтиску визначається по залежності

$$R_{p,0} = \frac{\pi D^2}{4} P_{ж} - \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) P_{p,3} - R_{тер,ц} - R_{тер,b} \quad (6)$$

де $P_{p,3}$ - тиск зливу в камері b ; $R_{тер,ц}$ - зусилля тертя поршня і штока циліндра 19; $R_{тер,b}$ - зусилля тертя між втулками 3 і 4.

Підставивши в залежність (6) $R_{тер,b} = P_k \cdot F_k \cdot \cos \alpha$ і вирішивши його відносно $P_{ж}$ знаходимо:

$$P_{ж} = \frac{4 \left[R_{p,0} + \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) P_{p,3} + R_{тер,ц} + P_k \cdot F_k \cdot \cos \alpha \right]}{\pi D^2} \quad (7)$$

При подачі тиску живлення $P_{ж}$ в камеру c тиск живлення, що підводиться до камери a при розтиску визначається по залежності

$$P_{ж,б} = \frac{4 \left[R_{p,0} + \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) P_{p,з} + R_{тер,ш} + P_k \cdot \cos \alpha (F_k - F_{k2}) \right]}{\pi D^2}$$

(8)

Із аналізу залежностей (7) і (8) випливає, що із збільшенням площі F_{k2} тиск живлення, що підводиться до камер циліндра 19 зменшується при збереженні зусилля затиску хвостовика інструмента (деталі).

Після здійснення необхідного затиску інструмента патрон вилучають із пристрою і встановлюють в шпіндель, наприклад, мотор-шпіндель.

Висновки. Запропонований безкамерний затискний патрон характеризується незначними радіальними габаритними розмірами, зусилля затиску-розтиску якого регулюється в широкому діапазоні, при цьому затискний гідроциліндр (або пневмоциліндр) не входить в структуру патрона. Показано, що виконання радіальної додаткової камери дає можливість зменшити робочий тиск живлення, що підводиться до робочих камер циліндра. Отримані результати дослідження можуть бути використані спеціалістами, які розробляють або експлуатують аналогічні патрони.

Список литературы:

1. Новік М.А., Музиченко В.В. *Спосіб експериментального визначення контактних тисків на зовнішній і внутрішній поверхнях затискної втулки малогабаритного затискного патрона з регульованою силою затиску* / Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2015. - №1. – С.149-153.
2. Termo Grip. *Bilz Werkzeug Fabrik GmbH&Co.KG Ostfildren*. – 07.2007.68.
3. Moser S. *Werkzeugholmer Schrumpffutter auf dem Vormarsch / Produktion*. – 2006. –N31-32. – p.20.
4. Патент США №6473954. *Затискний механізм гідромеханічного патрона* / МПК В23В31/20, F16N34/12, опубл. 05.11.2002.

5. Патент України №73045. *Гідромеханічний затискний патрон* / Кузнєцов Ю.М., Гуменюк О.А., Юрчишин О.Я. / МПК В23В31/30, В23В31/10, опубл. 16.05.2005, Бюл. №5.
6. Новік М.А. Музиченко В.В. *Порівняльний аналіз гідромеханічних затискних патронів* / Всеукраїнський науково-технічний журнал «Промислова гідраліка і пневматика». – 2013. - №2(40). – С.80-83.
7. Патент України №109332. *Гідромеханічний затискний патрон* / Новік М.А. Музиченко В.В. / МПК В23В31/30, опубл. 10.08.2015, Бюл. №15.
8. Патент України №132598. *Затискний патрон* / Новік М.А., Юрчишин О.Я. / МПК В23В31/30, опубл. 11.03.2019, Бюл. №5.

References (transliterated)

9. Novik M.A., Muzychenko V.V. *Sposib eksperimental'noho vyznachennya kontaktnykh tyskiv na zovnishniy i vnutrishniy po-verkhnyakh zatysknoyi vtulky malohabarytnoho zatysknoho pa-trona z rehu'ovanoyu syloyu zatysku* [Method of experimental determination of contact pressures on the outer and inner tops of the clamping sleeve of a small clamping chuck with adjustable clamping force] / Visnyk Vinnyts'koho politekhnichnoho instytutu. – 2015. - №1. – S.149-153.
10. Termo Grip. *Bilz Werkzeug Fabrik GmbH&Co.KG Ostfildren*. – 07.2007.68.
11. Moser S. *Werkzeugholmer Schrumpffutter auf dem Vormarsch / Produktion*. – 2006. –N31-32. – p.20.
12. Patent US №6473954. *Zatysknyy mekhanizm hidromekhanichnoho patrona* [The clamping mechanism of the hydromechanical chuck] / MPK V23V31/20, F16N34/12, opubl. 05.11.2002.
13. Patent UA №73045. *Hidromekhanichnyy zatysknyy patron* [Hydromechanical clamping chuck] / Kuznyetsov YU.M., Humenyuk O.A., Yurchyshyn O.Ya. / MPK V23V31/30, V23V31/10, opubl. 16.05.2005, Byul. №5.
14. Novik M.A. Muzychenko V.V. *Porivnyal'nyy analiz hidromekhanichnykh zatysknykh patroniv* [Comparative analysis of hydromechanical clamping chucks] / Vseukrayins'kyy nauko-ve-tekhnichnyy zhurnal «Promyslova hidravlika i pnevmatyka». – 2013. - №2(40). – S.80-83.
15. Patent Ukrayiny №109332. *Hidromekhanichnyy zatysknyy patron* [Hydromechanical clamping chuck] / Novik M.A., Muzychenko V.V. / MPK V23V31/30, opubl. 10.08.2015, Byul. №15.
16. Patent Ukrayiny №132598. *Zatysknyy patron* [Clamping chuck] / Novik M.A., Yurchyshyn O.YA. / MPK V23V31/30, opubl. 11.03.2019, Byul. №5.

Поступила (received) 20.05.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Новік Микола Андрійович (Новик Николай Андреевич, Novik Nikolai) - кандидат технічних наук, доцент кафедри конструювання машин, КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, просп. Перемоги, 37, тел (044)-454-94-61, e-mail: kvmmi@ukr.net

Юрчишин Оксана Ярославівна (Юрчишин Оксана Ярославовна, Yurchyshyn Oksana) - кандидат технічних наук, доцент кафедри конструювання машин, КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, просп. Перемоги, 37, тел 097-796-45-23, e-mail: urchyshynoks@ukr.net